

Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов

УДК 711.6+624.042.41

DOI: 10.14529/build210101

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРАЦИОННОГО РЕЖИМА ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ С ЦЕЛЬЮ ПРОВЕТРИВАНИЯ И ВЕТРОЗАЩИТЫ

В.Д. Оленьков, А.О. Колмогорова, А.Е. Сапогова
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Создание благоприятных условий для проживания населения в жилой застройке является одной из важнейших целей градостроительства и напрямую зависит от аэрационного режима территории застройки. В статье представлено описание методики выполнения численного моделирования ветрового воздействия на модель жилой застройки с целью ветрозащиты территории, её проветривания и создания условий комфортности и безопасности проживания населения, согласно аналогичному полунатурному эксперименту. Решение задачи обтекания воздушным потоком жилой застройки получено с использованием конечно-элементного анализа в пакете ANSYS CFX. Результаты сравнены с данными, полученными в аэродинамической трубе при проведении эксперимента с аналогичной моделью застройки. Исследованные закономерности обтекания ветровым потоком группы зданий могут быть полезны для оценки комфортности пешеходных зон при разработке архитектурно-планировочных решений городских кварталов, а также при планировании возведения зданий внутри существующих кварталов.

Ключевые слова: численное моделирование, вычислительная гидродинамика, градостроительство, аэрация, поле скоростей, градостроительная аэродинамика, ANSYS CFX.

Введение

Ветер является одним из ведущих климатических факторов, оказывающих влияние на формирование микроклимата внешней среды и загрязненность атмосферного воздуха. Для целей градостроительства необходимо также учитывать комфортность окружающей среды для человека, которая определяется помимо прочего комфортными скоростями ветра. При низких скоростях ветра и закрытой планировке микрорайона возможен застой воздуха, в результате которого внутри дворовой территории могут скапливаться снег, пыль и мусор, а также загрязненный воздух от выхлопов машин и т. п. При высоких скоростях ветра и открытой застройке возможно усиление ветра внутри дворовой территории, на детских площадках, что может привести к увеличению заболеваемости взрослого и детского населения (переохлаждение, ОРВИ и т. п.). Таким образом, некомфортные скорости ветра могут быть небезопасны для человека [1–5].

Вопрос оценки ветрового воздействия поднимался во многих статьях, многими исследователями. Основными направлениями исследований являются определение аэродинамических характеристик отдельных зданий, в особенности высотных [6–9], определение ветровых нагрузок на такие здания и их конструкции [10–13], аэродинамика комплекса зданий и различной застройки [14–17].

Двумя основными методами исследования являются эксперименты в аэродинамических трубах [18, 19] или численное моделирование в современных программных комплексах [20–22].

Так, например, в статье «Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий с учетом аэродинамических аспектов» М.К. Михайловой, В.С. Далинчука, А.В. Бушмановой, Л.В. Доброгорской [7] были рассмотрены основные аспекты аэродинамики зданий. Целью исследования было выявление способов распознавания аэродинамической характеристики здания, рассмотрение аэродинамики комплекса зданий, установление основных факторов, оказывающих влияние на формирование и изменение аэродинамической обстановки, а также рассмотрены некоторые виды защиты от ветра на уровне роста человека. Было выявлено, что наиболее эффективным методом определения распределения ветровых потоков является продувание модели здания в аэродинамической трубе.

Ю.В. Миронова и Л.М. Габдрахманова в своей статье «Ветровые воздействия на существующие малоэтажные здания при размещении высотных и многоэтажных зданий в сложившейся застройке» [15] рассматривали влияние максимальных аэродинамических ветровых воздействий на высотные здания и окружающую их застройку, а

также определение максимальной ветровой нагрузки в зависимости от высотности здания и расстояния до них.

В статье «Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на многофункциональный высотный жилой комплекс» О.И. Поддаевой, Ю.С. Буслаевой, Д.С. Грибач [14] описаны результаты эксперимента в малой аэродинамической трубе, согласно которым были получены коэффициенты давления ветровых нагрузок в зависимости от угла действия ветра.

Цель данного исследования – используя технологии компьютерного моделирования, рассмотреть ветровое воздействие на один из типовых вариантов застройки жилого микрорайона, спроектированного с целью ветрозащиты территории двора, и сравнить полученные данные с имеющимися результатами аналогичных экспериментов в аэродинамической трубе.

Застройка изменяет скорость и направление ветра, господствующего на открытой незастроенной территории, и создает определенный ветровой режим. Приемами архитектурно-планировочной композиции застройки можно добиться благоприятного для человека ветрового режима. В условиях повышенных скоростей ветра оптимальной можно считать скорость ветра, равную 0,1–0,5 от исходной, а в условиях низких скоростей – 0,5–1 от исходной [23].

Согласно гигиеническим исследованиям теплового самочувствия человека при ветре различной силы и в разных климатических условиях скорость ветра выше 5 м/с является неудовлетворительной для человека, а скорости от 0,6 до 2,5 м/с в умеренном климате считаются комфортными. Критериями оценки степени комфортности ветрового режима служат биолого-гигиенические нормативы и коэффициенты скорости ветра K [23]. В ходе исследований входящая скорость ветрового потока задавалась 5 м/с ($K = 1$).

1. Описание методики проведения исследования и исходные данные

Объектом исследования являлось обтекание ветровым потоком архитектурно-планировочной композиции жилой застройки, состоящей из 5 зданий высотой в 5 этажей ($H = 15$ м), параллельных друг другу. Ширина зданий B принята равной 12 м. Здания отстоят друг от друга на расстоянии, равном высоте $1H$ и смещены в перпендикулярном направлении на $1/3$ длины здания L ($L = 36$ м). Схема расположения зданий, их размеры и преобладающее направление ветра показаны на рис. 1.

Расчеты проводились в современном программном комплексе ANSYS, который предназначен для структурного анализа сложных конструкций, испытывающих комплексное нагружение: механическое, тепловое, гидродинамическое и электромагнитное. В гидродинамическом модуле FLOTTRAN решаются уравнения Навье – Стокса для ламинарных режимов течения и уравнения Рейнольдса для турбулентных режимов. Для численного интегрирования дифференциальных уравнений в частных производных используется метод конечных элементов [4].

Для того чтобы задать расчетную область вокруг группы зданий, необходимо определить характерный размер модели L_{max} (наибольший из размеров). В нашем случае $L_{max} = 120$ м – это расстояние между наветренным фасадом первого здания и подветренным фасадом пятого здания (рис. 2).

Создание сетки конечных элементов производилось во встроенном модуле ANSYS Meshing, позволяющем получить сетку различных конфигураций. Для данной задачи создана тетраэдральная сетка с минимальным размером элементов – 1 м и максимальным размером элементов – 15 м. Для корректности расчетов около зданий создавалась область сгущения сетки (максимальный размер элемента – 2,5 м) с помощью инструмента Face Sizing и встроенной функции Proximity and Curvature (рис. 3).

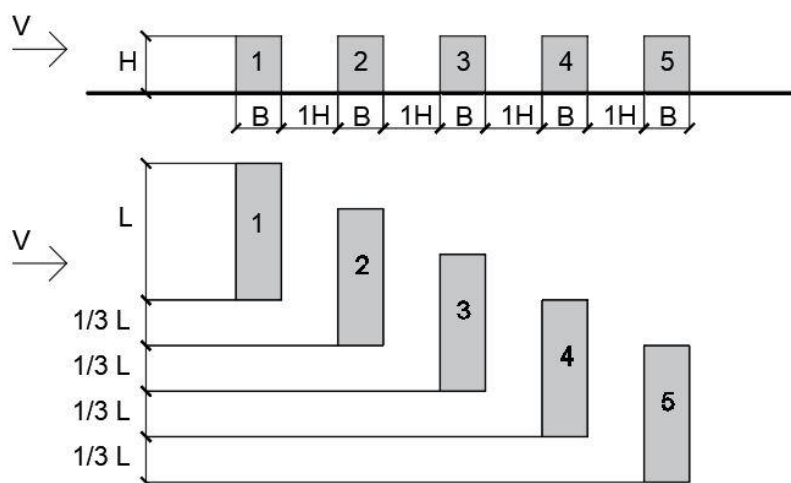


Рис. 1. Схема исследуемой композиции зданий

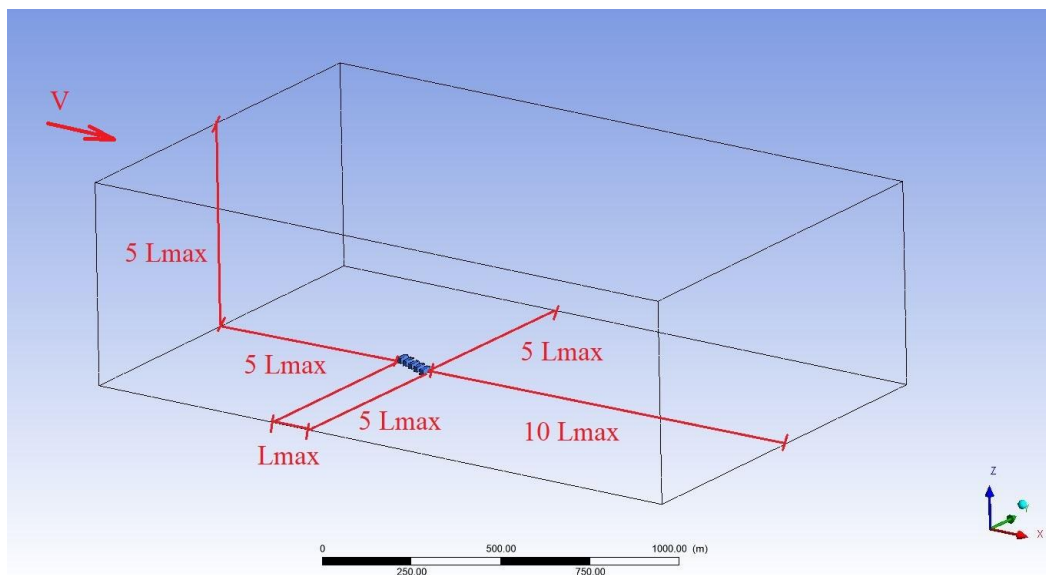
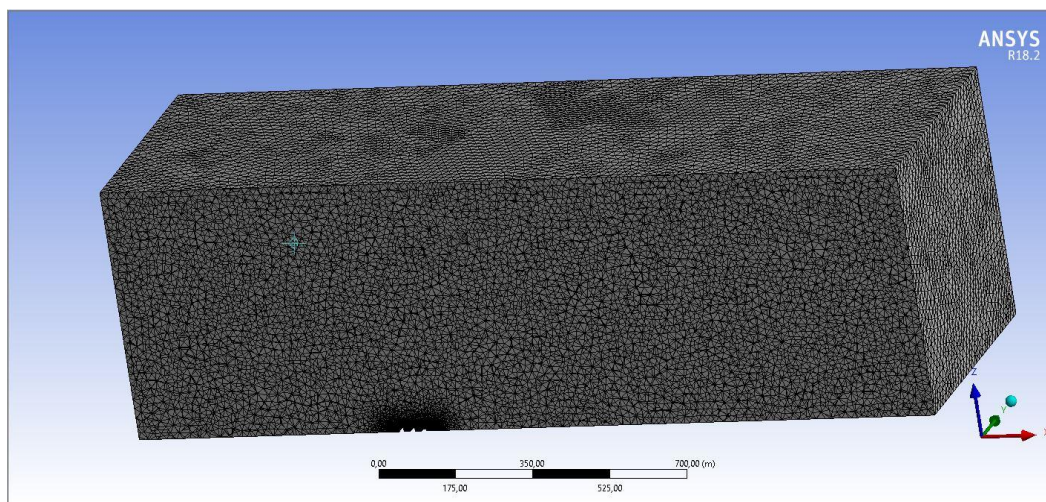
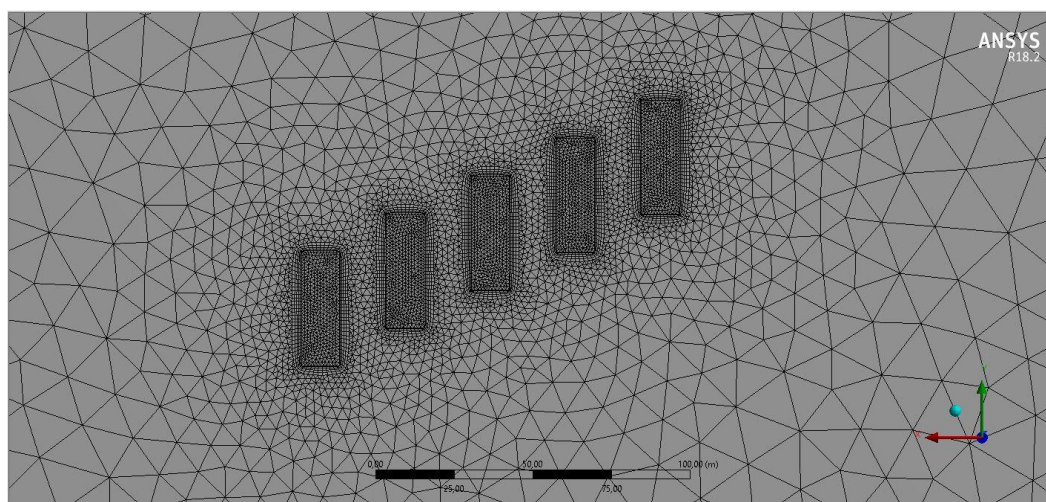


Рис. 2. Схема расчетной области



а)



б)

Рис. 3. Сетка конечных элементов: а – общий вид, б – вблизи зданий

Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов

Задавались следующие расчетные параметры среды (модель и граничные условия):

- модель течения воздуха без теплопереноса, для моделирования турбулентного течения – модель «k-ε»;
- скорость ветрового потока 5 м/с на входной границе в расчетную область;
- нулевое осредненное по всей области выхода относительное статическое давление;
- на боковых границах трубы заданы условия непротекания: составляющая скорости

по нормали к границе равна нулю, вязкое трение отсутствует.

2. Результаты исследования

После численного моделирования в программном комплексе Ansys CFX были получены линии тока ветра (рис. 4), поле давлений (рис. 5) и характеристика ветрового режима застройки на высоте роста человека – 2 м (рис. 6).

Как видно на рис. 4, ветер, встречая на своём пути здание № 1 (здесь и далее нумерация

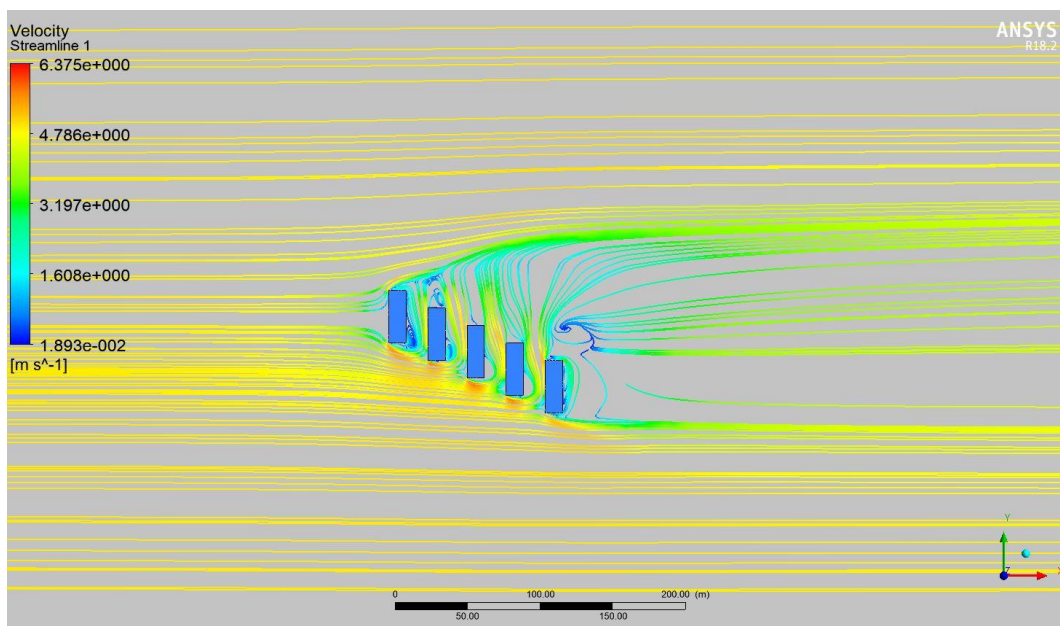


Рис. 4. Трансформация воздушного потока, обтекающего застройку из 5 домов. Линии тока ветра

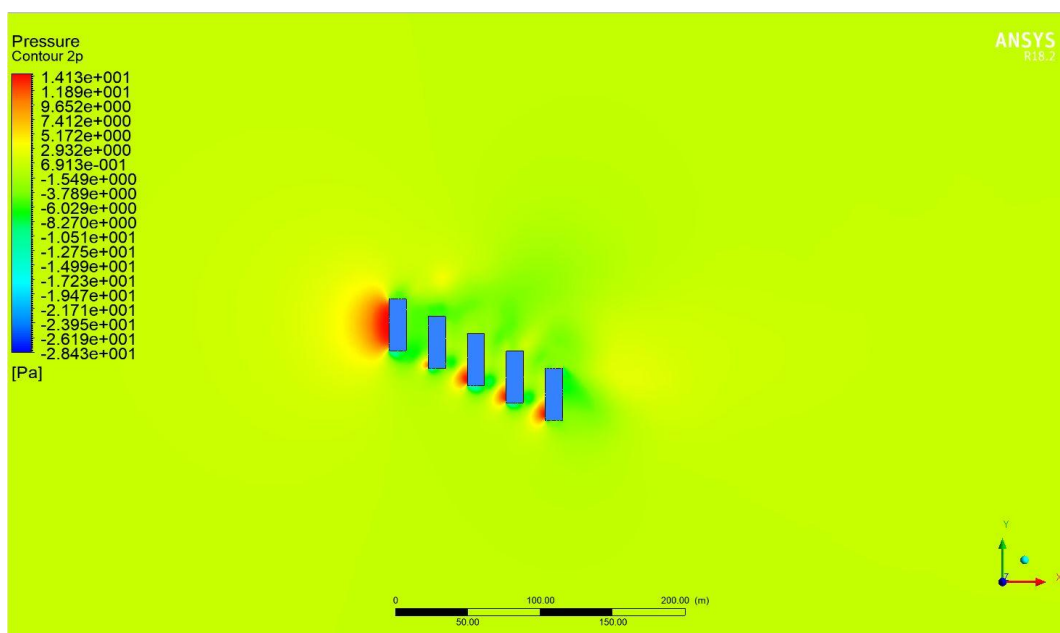


Рис. 5. Поле давлений на высоте роста человека – 2 м

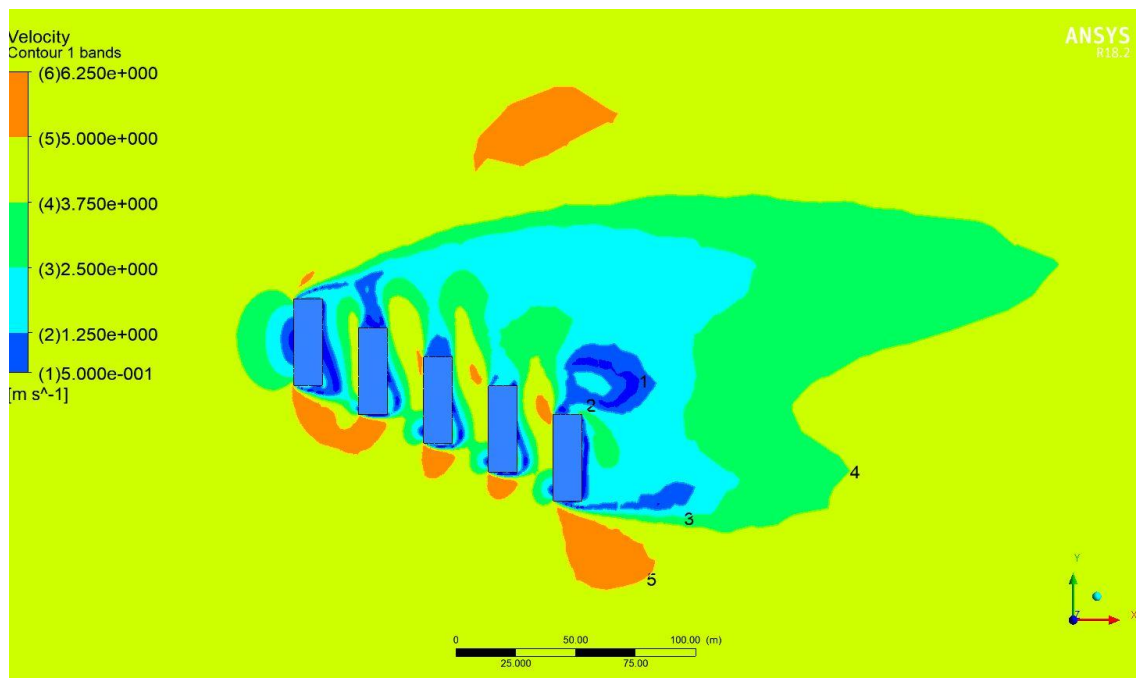


Рис. 6. Характеристика ветрового режима застройки на высоте роста человека (2 м).
Изолинии скорости ветра: 1 – 0,5 м/с ($K = 0,1$); 2 – 1,25 м/с ($K = 0,25$); 3 – 2,5 м/с ($K = 0,5$);
4 – 3,75 м/с ($K = 0,75$); 5 – 5 м/с ($K = 1$); 6 – 6,25 м/с ($K = 1,25$)

зданий принята в соответствии со схемой на рис. 1), раздваивается, обтекая его. Из-за возникающего отсоса воздуха за зданием и столкновением со следующими зданиями ветровой поток меняет своё направление на 90 градусов и втягивается между зданиями. При этом струи ветра, обтекающие торцы зданий, срываясь создают «отсос» воздуха у подветренных углов зданий и формируют компенсационные потоки воздуха, составляющие вихревой след за зданиями у нижней кромки.

Аналогично у северного торца второго и пятого зданий формируется вихревой след. Подобные вихревые следы в ветровой тени зданий составляют зону относительного затишья (скорости ветра в них минимальны по сравнению с набегающим потоком), в которой будут собираться снег и пыль со всей площади ветровой тени, а также взвешенные частицы, принесенные потоком огибающих струй. Также стоит отметить, что срыв ветра может быть опасен для нахождения людей, так как скорость ветра перед срывом максимальна по сравнению с набегающим потоком.

На рис. 6 показаны изолинии скорости ветра, взятые с шагом в 0,25 от заданной скорости ветра набегающего потока воздуха, равной 5 м/с. Большая часть ветровой тени участка находится в диапазоне скоростей 1,25–3,75 м/с, средний коэффициент скорости ветра $K = 0,4–0,5$. Полученные значения соответствуют экспериментальным данным, полученным в аэродинамической трубе для данной модели

застройки микрорайона, приведенным в Руководстве по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки [23].

В качестве критерия эффективности планировочного решения в аспекте аэрации принимают отношение между площадью территории с благоприятным ветровым режимом ко всей территории микрорайона. По данным расчета площадь ветрового затенения составила 78 % от площади исследуемого участка, что составляет больше 65–70 %, а значит данная композиция зданий является эффективной.

При этом стоит отметить неблагоприятные моменты: наблюдается усиление скорости ветра ($K = 0,75–1,25$) у наветренного фасада ветрозащитного здания (см. рис. 1, номер 1), а также в разрывах между зданиями. Для снижения ветрового напора в данных зонах будет целесообразным использовать древесно-кустарниковые группы или полосы озеленения перед зданием.

Выводы

1. Рассмотренная в исследовании композиция зданий достаточно эффективно снижает скорость ветра, создавая ветровую тень за зданиями. Площадь ветрового затенения составила 78 %, что говорит об эффективности подобной планировки с точки зрения ветрозащиты внутридворовой территории.

2. Средний коэффициент скорости ветра K в ветровой тени здания составляет 0,4–0,5, что соотносится с результатами аналогичных экспе-

риментов, производившихся в аэродинамической трубе.

3. Полученная методика расчета аэродинамических характеристик жилой застройки с помощью компьютерного моделирования в пакете ANSYS CFX может применяться для дальнейших исследований обтекания ветровым потоком подобных планировок, дает возможность решать вопросы проветривания и ветрозащиты территорий, а также комфортности и безопасности людей в жилой застройке.

Литература

1. Серебровский, Ф.Л. Аэрация населенных мест / Ф.Л. Серебровский. – М.: Стройиздат, 1985. – 172 с.
2. Реттер, Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика / Э.И. Реттер. – М.: Стройиздат, 1984. – 294 с.
3. Симиу, Е. Воздействие ветра на здания и сооружения / Е. Симиу, Р. Сканлан. – М.: Стройиздат, 1984. – 360 с.
4. Поддаева, О.И. Архитектурно-строительная аэродинамика: учебное пособие / О.И. Поддаева, А.С. Кубенин, П.С. Чурин. – 2-е изд. – М.: МГСУ, 2017. – 88 с.
5. Вайсман, А.А. Градостроительство и ветер / А.А. Вайсман. – СПб.: Изд-во Буковского, 2000. – 232 с.
6. Генералов, В.П. Особенности проектирования высотных зданий: учеб. пособие / В.П. Генералов – Самара: Самарск. гос. арх.-строит. ун-т, 2009. – 296 с.
7. Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий с учетом аэродинамических аспектов / М.К. Михайлова, В.С. Далничук, А.В. Бушманова, Л.В. Доброгорская // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 10. – С. 59–74.
8. Макулов, В.В. Воздействие ветра на высотные здания / В.В. Макулов, С.В. Квартальнов // Электронный научный журнал. – 2016. – № 5(8). – С. 527–530.
9. Aly Aly. Pressure integration technique for predicting wind-induced response in high-rise buildings // Mousaad Alexandria Engineering Journal. – 2013. – № 52. – P. 717–731.
10. Гагарин, В.Г. Аэродинамические характеристики здания для расчета ветрового воздействия на ограждающие конструкции / В.Г. Гагарин, С.В. Гувернюк, П.В. Леденев // Жилищное строительство. – 2010. – № 1. – С. 7–10.
11. Численное и физическое моделирование ветрового воздействия на группу высотных зданий / С.В. Гувернюк, О.О. Егорычев, С.А. Исаев и др. // Вестник МГСУ. – 2011. – № 3-1. – С. 185–191.
12. Variations in wind load on tall buildings due to urban development / A. Elshaer, A. Gairola, K. Adamek, G. Bitsuamlak // Sustainable Cities and Society. – 2017. – 34. – P. 264–277.
13. Aerodynamic Loads on Tall Buildings: Interactive Database / Yin Zhou, Tracy Kijewski, Ahsan Kareem // Journal of Structural Engineering. – 2004. – P. 395–404.
14. Поддаева, О.И. Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на многофункциональный высотный жилой комплекс / О.И. Поддаева, Ю.С. Буслаева, Д.С. Грибач // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С. 58–62.
15. Миронова, Ю.В. Ветровые воздействия на существующие малоэтажные здания при размещении высотных и многоэтажных зданий в сложившейся застройке / Ю.В. Миронова, Л.М. Габдрахманова // Известия КГФСУ. – 2019. – № 1. – С. 147–154.
16. Кошин, А.А. Анализ динамического воздействия воздушного потока на тандем моделей высотных зданий / А.А. Кошин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 2. – С. 134–141.
17. Physical simulation of wind pressure on building models at various arrangement and airflow conditions / A.I. Gnyrya, S.V. Korobkov, A.A. Koshin, V.I. Terekhov // Proceedings of the IV International research conference «Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine» (ITSMSSM 2017). Published by Atlantis Press. – 2017. – V. 72. – P. 389–392.
18. Дорошенко, С.А. Определение ветровой нагрузки на трехмерные конструкции с помощью моделирования в аэродинамической трубе / С.А. Дорошенко, А.В. Дорошенко, Г.В. Орехов // Вестник МГСУ. – 2012. – № 7. – С. 69–74.
19. Blackmore, P.A. A comparison of experimental methods for estimating dynamic response of buildings / P.A. Blackmore // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1985. – 18(2). – P. 197–212.
20. Оленьков, В.Д. Учет ветрового режима городской застройки при градостроительном планировании с использованием технологий компьютерного моделирования / В.Д. Оленьков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 21–27.
21. Поддаева, О.И. Численное моделирование ветровой аэродинамики высотного здания / О.И. Поддаева, С.И. Дубинский, А.Н. Федосова // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 9. – С. 23–27.
22. Braun, A.L. Aerodynamic and aeroelastic analyses on the CAARC standard tall building model using numerical simulation / A.L. Braun, A.M. Awruch // Computers and Structures. – 2017. – 87(9–10). – P. 564–581.
23. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки / ЦНИИП градостроительства. – М.: Стройиздат, 1986. – 59 с.

Оленьков Валентин Данилович, доктор технических наук, профессор кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), olenkovvd@susu.ru, centernasledie@mail.ru.

Колмогорова Алена Олеговна, аспирант кафедры «Строительное производство и теория сооружений», старший преподаватель кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы» Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), kolmogorovaao@susu.ru.

Сапогова Анастасия Евгеньевна, студент кафедры «Строительное строительство и инженерные сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), nastia150200@mail.ru.

Поступила в редакцию 7 декабря 2020 г.

DOI: 10.14529/build210101

COMPUTER SIMULATION OF THE AERATION MODE OF RESIDENTIAL DEVELOPMENT FOR VENTILATION AND WIND PROTECTION

V.D. Olenkov, olenkovvd@susu.ru, centernasledie@mail.ru

A.O. Kolmogorova, kolmogorovaao@susu.ru

A.E. Sapogova, nastia150200@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The creation of favorable conditions for the population to live in residential buildings is one of the most important goals of urban planning, and it directly depends on the aeration mode of the development area. The article presents a description of the methodology for performing numerical simulation of wind impact on a model of residential development for the reason of wind protection of the territory, its airing and creating comfortable and safe living arrangements for the population, according to a similar semi-natural experiment. The problem of air-flow conditions for residential buildings is solved using finite element analysis in the ANSYS CFX package. The results are compared with the data obtained in an aerodynamic tube during an experiment with a similar building model. The investigated patterns of wind flow around a group of buildings can be useful for assessing the comfort of pedestrian zones when developing architectural and planning concepts for street blocks and planning the construction of buildings within existing blocks.

Keywords: numerical simulation, computational fluid dynamics, urban planning, aeration, velocity field, urban aerodynamics, AnsysCFX.

References

1. Serebrovskiy F.L. *Aeratsiya naseleennykh mest* [Aeration of Localities]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 172 p.
2. Retter E.I. *Arkhitekturno-stroitel'naya aerodinamika* [Architectural and Construction Aerodynamics]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984. 294 p.
3. Simiu E., Skanlan R. *Vozdeystviye vetra na zdaniya i sooruzheniya* [The Impact of Wind on Buildings and Structures]. Moscow, Stroyizdat, 1984. 360 p.
4. Poddayeva O.I. Kubenin A.S., Churin P.S. *Arkhitekturno-stroitel'naya aerodinamika* [Architectural and Construction Aerodynamics]. Moscow, MGSU Publ., 2017. 88 p.
5. Vaysman A.A. *Gradostroitel'stvo i veter* [Urban Planning and Wind]. St. Petersburg, Izdatel'stvo Bukovskogo Publ., 2000. 232 p.
6. Generalov V.P. *Osobennosti proyektirovaniya vysotnykh zdaniy* [Design Features of High-Rise Buildings]. Samara, Samarsk. gos. arkh.-stroit un-t Publ., 2009. 296 p.
7. Mikhaylova M.K., Dalinchuk V.S., Bushmanova A.V., Dobrogorskaya L.V. [Design, Construction and Operation of High-Rise Buildings with Consideration of Aerodynamic Aspects]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy* [Construction of Unique Buildings and Structures], 2016, no. 10, pp. 59–74. (in Russ.)
8. Makulov V.V., Kvartal'nov S.V. [Wind Impact on High-Rise Buildings]. *Elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Electronic Scientific Journal], 2016, no. 5(8), pp. 527–530. (in Russ.)
9. Aly Aly. [Pressure Integration Technique for Predicting Wind-Induced Response in High-Rise Buildings]. *Mousaad Alexandria Engineering Journal*, 2013, no. 52, pp. 717–731.

10. Gagarin V.G., Guvernyuk S.V., Ledenev P.V. [Aerodynamic Characteristics of a Building for Calculating Wind Impact on Enclosing Structures]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing Construction], 2010, no. 1, pp. 7–10. (in Russ.)
11. Guvernyuk S.V., Egorychev O.O., Isayev S.A., Poddayeva O.I., Kornev N.V., Usachov A.E. [Numerical and Physical Modeling of Wind Impact on a Group of High-Rise Buildings]. *Vestnik MGSU*, 2011, vol. 1, no. 3, pp. 185–191. (in Russ.)
12. Elshaer A., Gairola A., Adamek K., Bitsuamlak G. [Variations in wind load on tall buildings due to urban development]. *Sustainable Cities and Society*, 2017, vol. 34, pp. 264–277. DOI: 10.1016/j.scs.2017.06.008.
13. Yin Zhou, Tracy Kijewski, Ahsan Kareem. [Aerodynamic Loads on Tall Buildings: Interactive Database]. *Journal of Structural Engineering*, 2004, pp. 395–404. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:3(394)
14. Poddayeva O.I., Buslayeva Yu.S., Gribach D.S. [Experimental Study of Wind Loads on a Multifunctional High-Rise Residential Complex], *The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2014, no. 6, pp. 58–62. (in Russ.)
15. Mironova Yu.V., Gabdrakhmanova L.M. [Wind Impacts on Existing Low-Rise Buildings when Placing High-Rise and Multi-Storey Buildings in the Current Development]. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*, 2019, no. 1, pp. 147–154. (in Russ.)
16. Koshin A.A. [Analysis of the Dynamic Effect of Air Flow on Tandem Models of High-Rise Buildings]. *Journal of Construction and Architecture*, 2014, no. 2, pp. 134–141. (in Russ.)
17. Gnyrya A.I., Korobkov S.V., Koshin A.A., Terekhov V.I. [Physical Simulation of Wind Pressure on Building Models at Various Arrangement and Airflow Conditions]. *Proceedings of the IV International research conference "Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine" (ITSMSSM 2017)*, 2017, vol. 72, pp. 389–392.
18. Doroshenko S.A., Doroshenko A.V., Orekhov G.V. [Determination of Wind Load on Three-Dimensional Structures Using Wind Tunnel Modeling]. *Vestnik MGSU*, 2012, no. 7, pp. 69–74. (in Russ.)
19. Blackmore P.A. [A Comparison of Experimental Methods for Estimating Dynamic Response of Buildings]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1985, no. 18(2), pp. 197–212.
20. Olen'kov V.D. [Accounting for the Wind Regime of Urban Development in Urban Planning Using Computer Simulation Technology]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 21–27. (in Russ.)
21. Poddayeva O.I., Dubinskiy S.I., Fedosova A.N. [Numerical Simulation of Wind Aerodynamics of a High-Rise Building]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and Civil Construction], 2014, no. 9, pp. 23–27. (in Russ.)
22. Braun A.L., Awruch A.M. [Aerodynamic and Aeroelastic Analyses on the CAARC Standard Tall Building Model Using Numerical Simulation]. *Computers and Structures*, 2017, no. 87(9-10), pp. 564–581. DOI: 10.1016/j.compstruc.2009.02.002.
23. *Rukovodstvo po otsenke i regulirovaniyu vetrovogo rezhima zhiloy zastroyki* [Guidelines for Assessing and Regulating the Wind Regime of Residential Buildings]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986, 59 p.

Received 7 December 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Оленьков, В.Д. Компьютерное моделирование аэрационного режима жилой застройки с целью проветривания и ветрозащиты / В.Д. Оленьков, А.О. Колмогорова, А.Е. Сапогова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 5–12. DOI: 10.14529/build210101

FOR CITATION

Olenkov V.D., Kolmogorova A.O., Sapogova A.E. Computer Simulation of the Aeration Mode of Residential Development for Ventilation and Wind Protection. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2021, vol. 21, no. 1, pp. 5–12. (in Russ.). DOI: 10.14529/build210101